



원자력발전소 '설계 수명 이후의 계속 운전' 현황

김 태 현

한국수력원자력(주) 정비기획처장



개요

고리 원자력 1호기가 1978년 4월 상업 운전을 시작한 지 올해로 27년이 되었다. 정부 규제 당국은 설계 수명에 도달한 원자력발전소에 대해서 안전성을 평가하고 안전 기준에 적합할 경우 계속 운전을 허용하고, 그렇지 못할 경우는 영구 정지하도록 하는 사항을 주요 내용으로 원자력법 시행령과 시행규칙 개

정령(안)을 금년 5월 19일부터 6월 10일까지 입법 예고하였다.

미국·유럽·일본 등 원자력 보유국들은 10여년 전부터 원전의 계속 운전에 대한 연구를 시작하여 현재는 많은 나라들이 동참하고 있다.

원자력발전소의 계속 운전을 허용하는 제도는 미국의 운영 허가 갱신(LR; License Renewal) 제도와 유럽 및 일본 등에서 채택하고 있는 주기적 안전성 평가(PSR; Periodic Safety Review) 제도 등 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

두 가지 제도 모두 장기 가동에 따른 기기의 경년 열화 영향을 고려하여 안전성을 확인하는 것을 기본으로 하고 있으며, 각국의 사정에 따라 선택적으로 적용하고 있다.

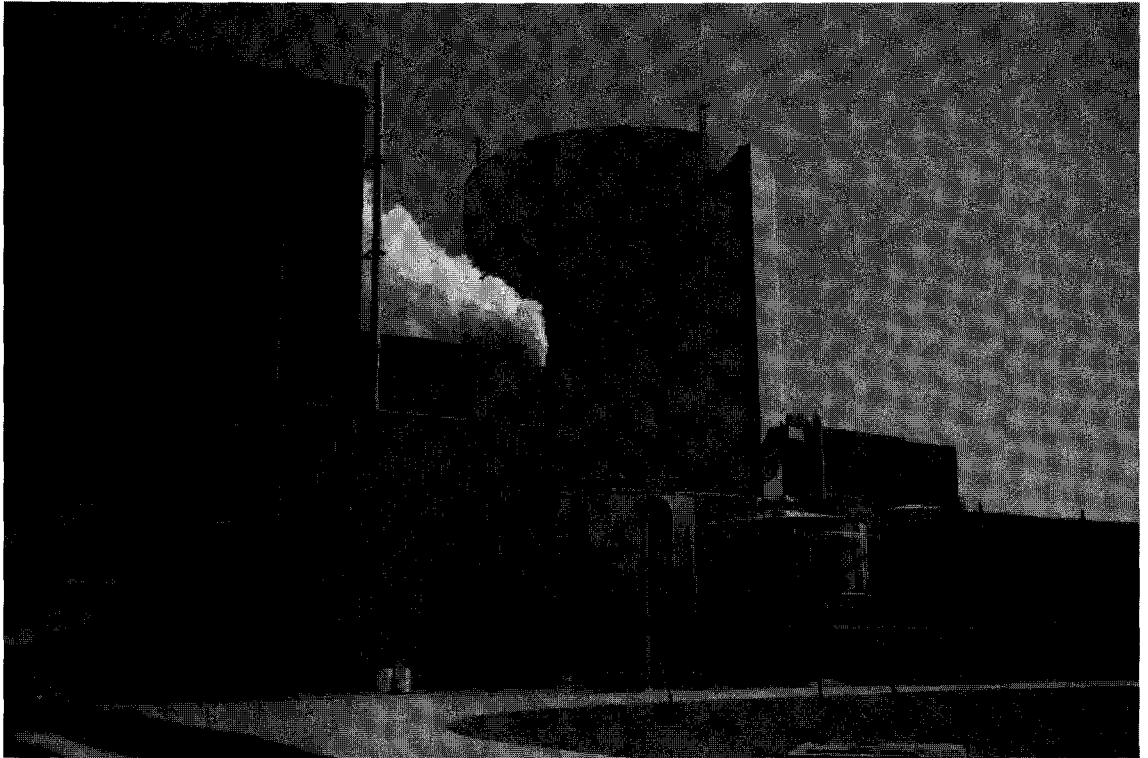
일정한 운영 허가 기간을 부여하고 있는 나라는 미국·캐나다·헝가리 등이며 일본·프랑스 등은 주기적 안전성 평가를 활용하고 있다.

〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 현재 전 세계에서 운전 중인 원전은 440기이며, 이 가운데 66%인 290기가 20년 이상 운전 중이다.

국내 원전 중 20년 이상 장기 운전 중인 발전소는 고리 1호기, 월성 2호기 및 고리 2호기 등 3기이다.

장기 가동 원전이 증가함에 따라 미국·유럽·일본 등 많은 국가에서는 10여년 전부터 설계 수명 이후의 계속 운전에 대한 법적 근거를 마련하여 경년 열화 관리 등 안전성을 평가한 후 상당 수의 원전이 설계 수명 이후 계속 운전을 허가받았거나 운전 중에 있으며, 대만도 미국의 운영 허가 갱신을 참고로 계속 운전을 추진하고 있다.

국내 원전도 1993년부터 고리 1호기와 월성 1호기를 대상으로 수명 관리 연구를 국내 전문 기관 주관(일부 외국 기술 지원)으로 수행한 결과, 외국 원전과 같이 계속 운



고리 1호기. 한국수력원자력(주)는 장기 가동중인 고리 1호기를 중심으로 지금까지의 안전 운전 경험과 외국의 계속 운전 사례에 대한 집중적인 연구 결과 적용을 바탕으로 국민이 안심할 수 있는 수준의 안전성을 확보함으로써 다가올 계속 운전 준비에 만전을 기할 것이다.

전이 기술적으로 타당하며 경제성도 있는 것으로 평가되었다.

설계 수명 이후의 원전 운영에 대하여 수명 연장, 연장 운전, 계속 운전 등 여러 가지 용어가 거론되었으나 이 중에서 우리 나라는 원자력법령에서 '설계 수명 이후의 계속 운전(이하 계속 운전)'이라는 용어를 채택하였다.

국내외 계속 운전 현황

1. 국외

가. 미국

미국 원전의 설계 수명 이후 계속

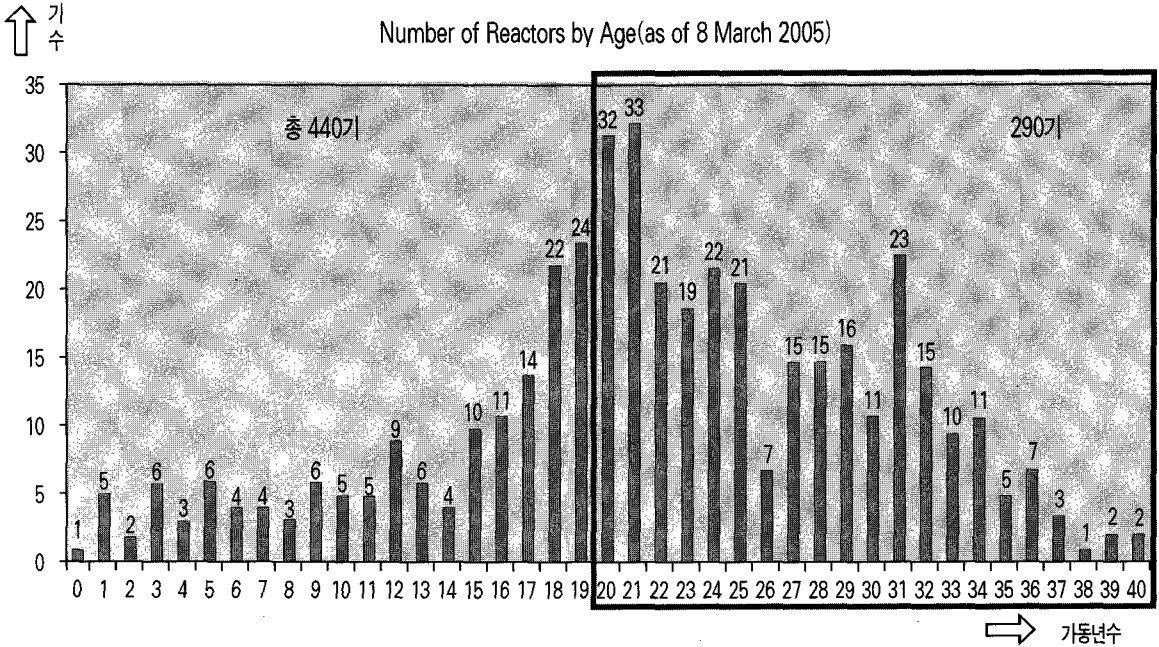
운전(운영 허가 갱신; License Renewal)은 지난 1990년대 초 관계 법령이 제정된 후 두 차례의 개정을 하였다.

미국 원전 104기 중에 계속 운전을 승인받은 발전소가 2005년 5월 현재 32기(전체의 31%에 해당)이며, 규제 기관에 운영 허가 갱신 신청을 한 후 심사중인 발전소도 16기이며, 조만간 계속 운전을 신청할 의향이 있다고 규제 기관에 의향서를 제출한 원전도 26기로서 전체의 71%인 74기가 계속 운전을 허가받았거나 추진하고 있으며, 나머지 원전도 계속 운전을 추진하는 것이 미

국의 분위기이다.

현재 가동중인 104기 원전 중 설계 수명이 초과된 원전은 아직 없으며, 최초로 설계 수명 40년에 도달하는 시기는 2009년도로서 해당 원전은 Ginna 1호기와 Dresden 2호기, Nile Mile Point 1호기 등 3기이다.

미국은 연방법의 「운영 허가 갱신규정(License Renewal Rule, 10CFR54)」에 따라 처음 운영 허가 기간을 40년으로 하고, 이후 사업자가 운영 허가 갱신을 신청하면 약 22~30개월의 규제 기관 심사를 거쳐 최대 20년을 추가하여 계속 운



〈그림 1〉 세계 원전 가동년수 현황 (2005. 3. 현재)

전을 승인해 주고 있으며, 계속 운전 신청 시기도 설계 수명 종료 시점을 기준으로 20년에서 5년 전까지로 되어 있다.

계속 운전 신청시의 서류는 발전소 일반 자료, 기술 자료, 운영 기술 지침서 및 환경 영향 평가서이다.

기술 자료에 포함되는 세부 내용은 발전소 종합 평가, 현행 운영 허가 변경 사항, 시간 제한 경년 열화 분석 및 최종 안전성 분석 보고서(FSAR) 보완본이다(〈표 2〉 참조).

미국은 현행 운영 허가 기준(CLB; Current License Basis)에 의해 주요 안전 현안의 적기 해결을 가정하여 소급 규정 등으로 안전 관

련 기기의 경년 열화 영향과 환경 영향 평가에 초점을 두고 있다.

경년 열화 관리는 장수명 수동형 기기 위주로 평가하며, 능동형 기기는 기존의 정비 규정(Maintenance Rule)에 의해 정비, 감시, 교체가 가능하므로 계속 운전에서는 정비 규정의 이행 여부를 확인하고 있다.

〈그림 2〉는 미국 원전의 계속 운전에 대한 여론 조사 결과(2002.12)를 보여준다. 계속 운전을 찬성하는 비율이 성인을 대상으로 한 경우는 82%, 대학을 졸업한 유권자의 경우는 이보다 높은 88%를 차지하여 원전 건설을 선호하는 비율(평균

73%)보다 높게 나타나 계속 운전에 대한 관심이 높다는 것을 알 수 있으며, 미국 국민은 원자력발전소의 건설과 계속 운전 모두에 대해 상당히 호의적인 것을 알 수 있다.

나. 일본

일본은 주기적 안전성 평가 제도를 활용하고 있으며 규제상의 운영 허가 기간은 없다.

일본은 1990년대 초반부터 정부와 전력 회사가 공동으로 장기 가동 원전에 대한 검토를 착수하여, 경년 열화 예방 및 수명 관리를 조합한 개념을 기초로 하여, 1996년 4월에 정부(통상산업성; MITI(현 METI))에서 총 60년 계속 운전이 가능하

다는 내용의 장기 가동 원전 기본 정책(발전소 수명 관리 기본 원칙)에 대한 성명을 발표하였다.

PSR 관련 법령은 2003년 9월에 신설하여 30년 이상 운전하고자 하는 원자로 시설에 대하여 10년마다 최신의 기술적 지식을 반영한 안전성 평가를 실시하고 발전소 수명 관리 보고서를 제출하며 정부는 이를 심사하여 공표하고 있다.

현재까지 3차례에 걸쳐 총9기의 원전에 대해 발전소 수명 관리(PLM; Plant Life Management) 보고서를 정부에 제출하였으며, 쓰루가 1호기, 미하마 1호기 등 총 7기의 원전이 30년 이상 계속 운전을 승인받아 운전하고 있으며, 겐카이 1호기와 타카하마 2호기는 안전성 평가를 심사중이다.

다. 프랑스

프랑스는 주기적 안전성 평가를 활용하여 계속 운전을 추진하고 있으며, 10년 주기의 안전성 재평가를 용량별로 수행(General PSR)하고 있고, 30년 운전 후인 3번째 시행되는 주기적 안전성 평가서에는 발전소별로 경년 열화 관리를 위해 요구되는 정보를 포함한 특별 안전성 평가(Specific PSR)를 추가로 수행하고 있다.

프랑스는 현재의 지식과 기술 관점에서 40년 이상의 운전을 목표로 하고 있으며, 최장기 운전되고 있는 원전은 Fessenheim 1호기(상업

〈표 1〉 외국의 원전 수명 관리 및 계속 운전 현황

국가(운전자수)	수명 관리 방침	계속 운전 현황
미국(104)	○ 운영 허가 갱신 제도(10CFR54) ○ 최초 운영 허가 기간은 40년, 최대 20년 단위로 계속 운전 허용	○ Calvert Cliff 1&2 등 32기 운영 허가 갱신 발급 ○ ANO 2 등 16기 심사 중
프랑스(58)	○ 10년 주기 PSR 결과를 차기 10년간 운전 허용의 판단 기준으로 활용	○ 900MWe급 PWR 34기의 원전에 대해 PSR 결과를 토대로 10년 계속 운전 일괄 승인함
일본(54)	○ 10년 주기의 PSR 법령에 따라 원전의 계속 운전 여부를 결정	○ 쓰루가 1호기 등 7기의 원전이 30년 이후 계속 운전 중 ○ 2기 심사 중
영국(27)	○ PSR 결과를 계속 운전 판단 근거로 활용	○ Oldbury 1, 2호기 등 8기 원전이 30년 이상 계속 운전 중
캐나다(14)	○ 통상 2년(2~5년) 주기로 원전의 안전 수준과 운영 성적을 종합 평가 하여 운영 허가 기간을 갱신	○ Point Lepreau, Gentilly 2호기는 계속 운전 준비중 ○ Pickering 4호기는 32년차 운전 중

〈표 2〉 미국의 운영 허가 갱신 신청서 제출 서류

제출 서류	주요 내용	
발전소 일반 자료	신청자 인적 사항, 원전 일반 사항, 갱신 만료 시점	
기술 자료	발전소 종합 평가(IPA)	경년 열화 관리 대상 기기 목록, 분석 방법, 경년 열화 관리 설명
	현행 운영 허가 기준 (CLB) 변경 사항	- 해당 원전에 적용된 규제 요건, 사업자의 이행 약속 - 적용된 설계 기준의 변경 또는 추가 사항 - NRC 행정 명령, 평가 보고서 및 사업자 보고 등에 제시된 이행 현황
	시간 제한 경년 열화 분석 (TLAA)	계속 운전 종료 시점까지 고유 기능의 수행 입증
	FSAR 보완본	경년 열화 관리 계획(AMP) 및 영향 평가의 요약
운영 기술 지침서	계속 운전 동안 경년 열화 영향 관리를 위한 추가 및 변경 사항	
환경 영향 평가 보고서(ER)	계속 운전에 따른 환경 영향의 종합적 분석 및 평가	

운전 1977. 12)로 28년차 운전중이다.

900MW급 34기의 평균 운전년수는 25년, 1,300MW급 20기는 18년, 1,450MW급 4기의 평균 운전년수는 7년이다.

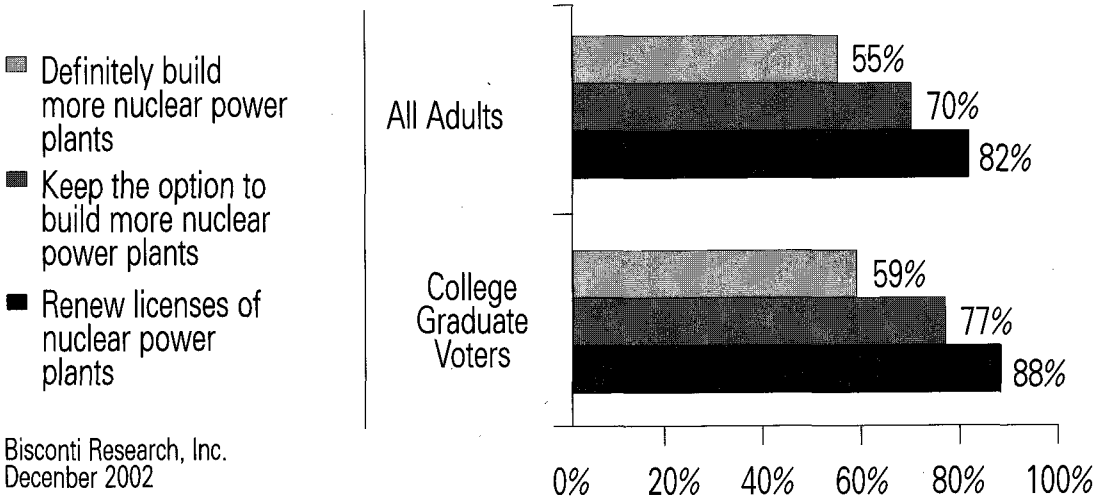
라. 캐나다

캐나다는 통상 2년(2~5년) 주기로 원전의 안전 수준과 운영 성적을 종합 평가하여 운영 허가 기간을 갱신하고 있으며, Pickering 4호기는 32년차 가동중이며, 두 개 호기는 계속 운전을 준비중에 있다.

마. 영국



Percentages strongly/Somewhat Agree



Bisconti Research, Inc.
December 2002

〈그림 2〉 계속 운전에 대한 미국인의 여론 조사 결과 (2002.12)

운영 허가 기간의 제한이 없으며 10년마다 수행되는 PSR 결과를 활용하여 계속 운전 허용 여부를 결정하며 현재 Oldbury 1, 2호기 등 8기 원전이 30년 이상 계속 운전 중이다

2. 국내

우리 나라의 경우 국제원자력기구(IAEA)의 주기적 안전성 평가 지침(50-SG-O12)을 참고로 하여 2001년부터 원자력법에 주기적 안전성 평가 제도를 도입하여 원전별로 매 10년 주기의 안전성 평가를 수행하고 있으며, 설계 수명 이후의 계속 운전에 대해 원자력법령을 신

설하게 됨으로써 법적 근거가 마련될 것이다.

부존 자원이 부족하여 대부분의 에너지를 수입에 의존하고 있는 우리나라의 경우, 에너지 수급 현실과 신규 발전소 부지 확보 여건 등을 고려할 때 안전성 확인을 전제로 운전 중인 기존 설비를 계속 활용하는 것이 필요하며 국익에도 크게 도움이 될 것이다.

입법 예고되었던 원자력법 시행령의 주요 내용을 보면, 설계 수명 만료일 이후 사업자가 계속하여 운전을 하고자 할 때에는 설계 수명 만료일 5년 내지 2년 이전에 주기적 안전성 평가 보고서를 제출하여

야 하고, 계속 운전을 하지 않고자 할 때에는 영구 정지를 위한 운영 변경 허가를 신청토록 하였으며, 설계 수명 이후 계속 운전을 하고자 할 때에는 기존의 주기적 안전성 평가 내용에 주요 기기에 대한 수명평가와 운영 허가 이후 변화된 방사선 환경 영향 등 평가 항목을 추가하였다.

설계 수명 이후의 계속 운전을 위한 평가시 계통·구조물·기기에 대하여는 최신 운전 경험 및 연구 결과를 반영한 기술 기준을 활용하고, 방사선 환경 영향에 대하여는 최신 기술 기준을 활용토록 하였다. 원자력법 시행규칙의 주요 개정

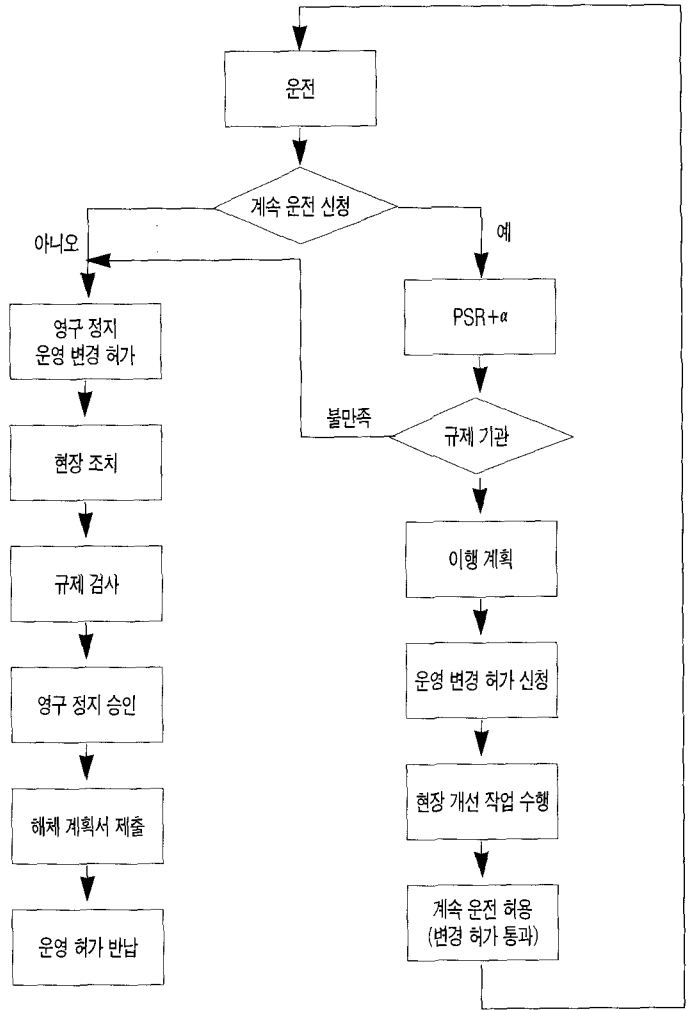
(안) 내용은 주기적 안전성 평가 내용 중 '안전성 분석에 관한 사항' 과 '기기 검증에 관한 사항' 에 대하여 설계 수명까지로 제한한 안전성 검토 기간을 평가 기준일로부터 10년 까지 확대하였다.

설계 수명 이후 안전성 평가를 강화하기 위해 수명평가와 방사선 환경 영향 평가를 추가하였으며, 설계 수명 이후 안전성 평가의 기준이 되는 강화된 기술 기준을 규정하고 세부 사항은 과학기술부 장관이 정하여 고시하도록 하였다.

<그림 3>은 장기 가동 원전의 수명 관리에 대한 흐름도이며, 계속 운전을 위해서는 계속 운전용 주기적 안전성 평가를 실시하고 규제 기관으로부터 심사를 득한 후 계속 운전을 할 수 있다.

계속 운전용 주기적 안전성 평가 결과가 만족스럽지 못하면 영구 정지를 위한 운영 변경 허가를 신청하여 절차에 따라 원자로를 영구 정지하게 된다.

<그림 4>는 원자력발전소의 운영 허가 발급 단계에서부터 설계 수명 내 운전과 설계 수명 이후 계속 운전을 하기 위해서 고려되어야 할 추가 기준을 나열한 것으로, 계속 운전을 위해서는 경년 열화(Aging)와 시간 제한 설계 요소에 대한 고려가 필요함을 알 수 있으며, 입법 예고된 내용에는 방사선 환경 영향 평가도 추가되었다.



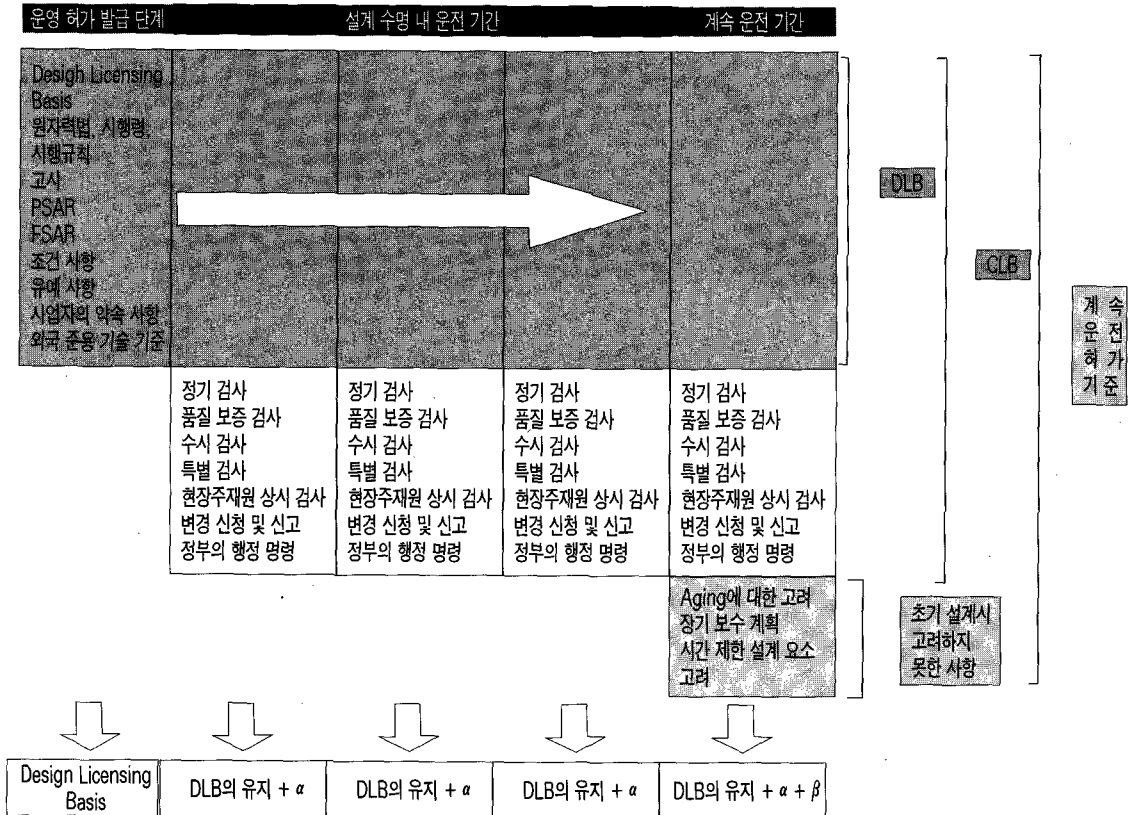
<그림 3> 장기 가동 원전 수명 관리 흐름도

국내에서 가동년수가 가장 오래 된 고리 1호기는 증기발생기와 저압 터빈 회전자, 주발전기 등 주요 핵심 기기를 교체하였으며, 공정 제어 및 보호 계통을 신규 설비로 개선하는 등 설비 개선을 꾸준히 수행하여 발전소 안전 운영 향상은 물

론 장기 가동을 위한 기틀을 마련하였다.

원자력발전소 운영 현황

원자력발전소 이용률은 발전 설비 운영의 효율성과 활용도를 나타



(그림 4) 계속 운전 허용 기준 고려 사항(출처 : KINS)

내는 지표로써 설비의 건전성 및 운영 인력의 우수성 등 발전소 운영 기술 수준을 평가하는 직접적인 척도가 된다.

국내 원전의 이용률 추세는 1978년 국내 최초로 고리 1호기가 상업운전을 시작한 이래 1990년도까지는 70%대 수준이었으나, 원전 운영 기술과 경험이 부족하였던 초창기의 어려움을 슬기롭게 극복하고 지속적으로 운영 기술을 향상시켜

1991년부터 80%대로 진입하였으며 1993년 이후 87% 이상의 높은 이용률 수준을 유지하고 있다.

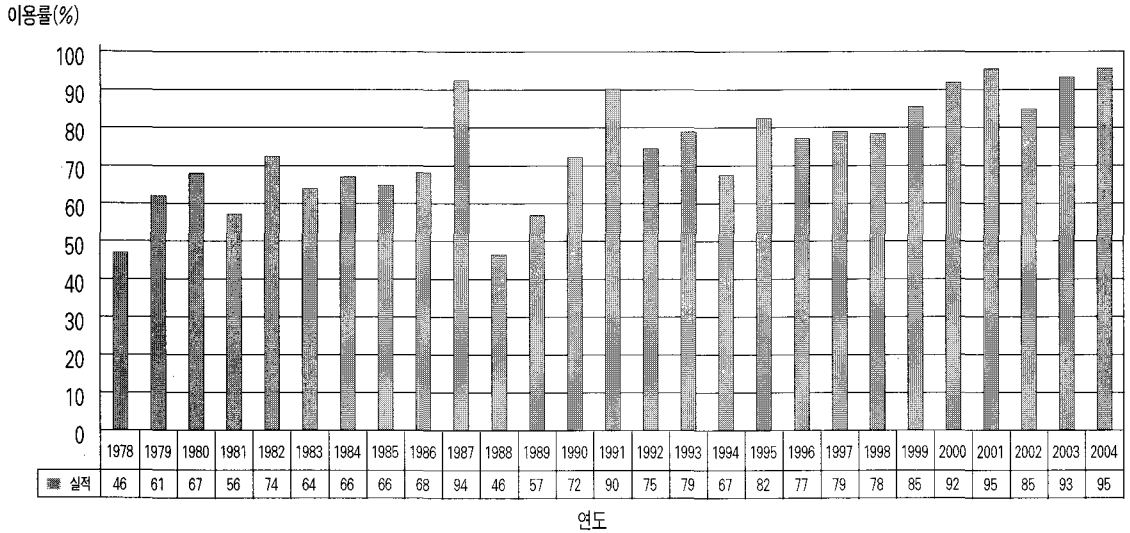
특히 2003년에는 우리나라 25년 원전 운영 역사상 최고 실적인 94.17%를 기록하였다.

고리 1호기 이용률의 경우 <그림 5>에서 보는 바와 같이 상업 운전 이후 2004년까지 평균 74.4%를 기록하였으며, 1999년부터 2004년까지 최근 5년 동안은 92.1%의

높은 이용률을 달성하였다.

고리 1호기 고장 정지의 경우 최근 5년 동안에는 총 2회로서 년 평균 0.4회로 우수한 운영 실적을 기록하였다.

이는 우리나라 규제 기관의 엄격한 규제와 적극적 지도가 뒷받침되었고, 인적 실수 및 아차 사례 경험 발표회를 통한 운전 능력의 향상, 정비 품질 확보를 위한 꾸준한 노력과 국내 원전간 교체 기술 지원을



〈그림 5〉 고리 1호기 상업 운전 이후 연도별 이용률

통해 취약 분야의 도출 및 개선, 우수 사례를 상호 전파하는 등의 노력을 기울인 결과로 볼 수 있다.

계속 운전을 위해 해야 할 일

국내 원전의 계속 운전을 위해서는 무엇보다 법령에서 제시된 안전성 평가 사항을 수행하여 규제 기관으로부터 안전성을 확인받아야 한다.

안전성 평가 항목은 설계 수명 이전에 수행되는 주기적 안전성 평가에 추가하여 주요 기기에 대한 수명 평가와 운영 허가 이후 변화된 방사선 환경 영향 평가를 수행하여야 한다.

평가 결과 안전성 증진을 위해서

추가해야 할 내용이나 설비 개선이 필요하면 기기를 개선 또는 교체하여야 한다.

안전에 필수적인 계통이나 계속 운전 규제 요건은 아니지만 발전소의 신뢰도 증진이나 운영 효율을 높이기 위해 운전 및 정비 경험 등을 반영하여 설비 보강도 필요하다.

또한, 사회 수용성 확보를 위해서는 각종 워크숍에 시민 단체와 지역 인사 등을 초청하여 계속 운전에 대한 신뢰를 구축하고, 지역 주민을 대상으로 설명회 등을 실시할 계획이다.

또한 정부, 산·학·연의 유기적인 협조하에 공동 노력을 펼쳐야 한다.

지구 온난화 방지를 위해 1997년

에 체결된 교토 의정서가 금년 2월 16일부터 기후변화협약으로 공식 발효됨으로써 원자력은 친환경 에너지원으로서 더 많은 관심을 받을 것이다.

미국을 비롯한 많은 나라에서 원전의 계속 운전을 시행하고 있고, 우리나라도 계속 운전을 위한 법적 근거가 금년 하반기에 공포될 예정으로 있다.

한국수력원자력(주)도 장기 가동 중인 고리 1호기를 중심으로 지금까지의 안전 운전 경험과 외국의 계속 운전 사례에 대한 집중적인 연구 결과 적용을 바탕으로 국민이 안심할 수 있는 수준의 안전성을 확보함으로써 다가올 계속 운전 준비에 만전을 기할 것이다. ☞